

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PROCAD - PROGRAMA DE CÁLCULO DE ERRO EM AQUISIÇÃO DIGITAL DE SINAIS

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PARA A OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Júlio da Silva Dias

Florianópolis, Agosto de 1994

PROCAD - PROGRAMA DE CÁLCULO DE ERRO EM AQUISIÇÃO DIGITAL DE SINAIS

JÚLIO DA SILVA DIAS

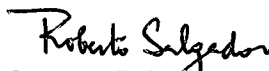
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA ELÉTRICA, ENGENHARIA BIOMÉDICA, E
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO



PROF. CARLOS INÁCIO ZANCHIN, M.Sc.

Orientador



PROF. ROBERTO SALGADO, Ph.D.

Coordenador da Pós Graduação Eng. Elétrica



Banca Examinadora:

PROF. CARLOS INÁCIO ZANCHIN, M.Sc. (Presidente)



PROF. WALTER CELSO DE LIMA, Sc.D. (Co-orientador)



PROF. RENATO GARCIA OJEDA, D.Sc.



PROF. FERNANDO MENDES DE AZEVEDO, D.Sc.

À minha esposa MAYRA

Aos meus pais GIL e MARIA ALICE

Aos meus irmãos JOÃO e LUCÍLIA

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Carlos Inácio Zanchin pela valiosa colaboração na orientação deste trabalho;

Ao Grupo de Pesquisa em Engenharia Biomédica pelo apoio através da infraestrutura;

A Universidade Federal de Santa Catarina pelo apoio;

A todos os colegas que, de alguma forma, viabilizaram este trabalho :

Eng. Ricardo Felipe Custódio

Eng. João da Silva Dias

Eng. Julíbio D. Ardigo

Eng. Guilherme G. S. Bernard

SUMÁRIO

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE FIGURAS | VII |
| SIMBOLOGIA..... | VIII |
| RESUMO..... | XII |
| ABSTRACT..... | XIII |
| CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 - INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 2 |
| 1.3 - PROPOSTA DE TRABALHO..... | 4 |
| CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA | 7 |
| 2.1 - INTRODUÇÃO..... | 7 |
| 2.2 - ESTRUTURA DO PROGRAMA..... | 7 |
| 2.3 - MÓDULO BIBLIOTECA..... | 9 |
| 2.3 - MÓDULO DE PROJETO..... | 9 |
| 2.3 - MÓDULO DE ANÁLISE..... | 10 |
| A - ERRO DO CIRCUITO FUNCIONAL | 10 |
| B - FONTES DE SINAL..... | 12 |
| C - AMPLIFICADORES DE INSTRUMENTAÇÃO (AI) | 13 |
| D - FILTROS PARA INSTRUMENTAÇÃO | 17 |
| E - MULTIPLEXADORES ANALÓGICOS..... | 19 |
| F - CIRCUITOS DE AMOSTRAGEM E RETENÇÃO (S/H)..... | 20 |
| G - CONVERSOR ANALÓGICO-DIGITAL..... | 22 |
| H - SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE SINAIS | 23 |
| 2.6 - IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA..... | 25 |
| 2.7 - TESTES DO SISTEMA | 26 |

| | |
|-----------------------------------|----|
| CAPÍTULO 3 - PROGRAMA PROCAD..... | 27 |
| 3.1 - INTRODUÇÃO | 27 |
| 3.2 - MÓDULO APRESENTAÇÃO | 28 |
| 3.3 - MÓDULO BIBLIOTECA..... | 29 |
| 3.4 - MÓDULO PROJETO | 31 |
| 3.5 - MÓDULO CÁLCULO..... | 34 |
| 4 - AVALIAÇÃO DO PROGRAMA..... | 38 |
| 4.1 - INTRODUÇÃO | 38 |
| 4.2 - ESTUDO DE CASOS..... | 39 |
| 5 - CONCLUSÃO | 46 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 49 |

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1 - Diagrama de fluxo de dados do sistema
- Figura 2 - Estrutura do Programa PROCAD
- Figura 3 - Processamento do sinal através do circuito funcional
- Figura 4 - Decomposição das fontes de sinal em série de Fourier
- Figura 5 - Levantamento dos erros do AI
- Figura 6 - Levantamento dos erros do AMUX
- Figura 7 - Levantamento dos erros do S/H
- Figura 8 - Levantamento dos erros do CAD
- Figura 9 - Diagrama hierárquico do program PROCAD
- Figura 10 - Tela do módulo apresentação
- Figura 11 - Tela do módulo biblioteca
- Figura 12 - Tela do módulo projeto
- Figura 13 - Tela do módulo apresentação de resultados
- Figura 14 - Tela do módulo apresentação de resultados com três casos analisados
- Figura 15 - Tela do módulo apresentação de resultados utilizando a opção VER
- Figura 16 - Primeiro caso a ser estudado
- Figura 17 - Levantamento de erros de aquisição do primeiro caso estudado
- Figura 18 - Segundo caso a ser estudado
- Figura 19 - Levantamento de erros de aquisição do segundo caso estudado
- Figura 20 - Terceiro caso a ser estudado
- Figura 21 - Levantamento de erros de aquisição do terceiro caso estudado

SIMBOLOGIA

| | |
|----------------------|---|
| AI | amplificador de instrumentação; |
| AMUX | multiplexador analógico; |
| C | correção; |
| CAD | conversor analógico-digital; |
| CMRR | razão de rejeição a sinais de modo comum ("Common-Mode Rejection Rate"); |
| C_s | capacitância parasita existente entre entrada aberta e referência do multiplexador; |
| C_{s-OUT} | capacitância parasita existente entre entrada e saída aberta; |
| C_{ss} | capacitâncias parasitas existentes entre as chaves do multiplexador; |
| DVR | taxa de perda de tensão do capacitor de retenção apresentado pelo S/H; |
| $\frac{df(A_v)}{dT}$ | variação da não linearidade do ganho com a variação de temperatura; |
| $\frac{dI_{os}}{dT}$ | variação da corrente de desvio com a variação da temperatura; |
| $\frac{dR_{on}}{dT}$ | coeficiente de temperatura da resistência da chave; |
| $\frac{dV_{os}}{dT}$ | variação da tensão de desvio com a variação da temperatura; |
| E_a | erro aleatório; |
| E_A | erro de amplitude apresentado pelo AI; |
| E_{ABDI} | erro devido a absorção dielétrica do capacitor de retenção do S/H; |
| E_{ACM} | erro de acomodação apresentado pelo multiplexador; |
| E_{ACQ} | erro aquisição apresentado pelo S/H; |
| E_{AI} | erro em tensão apresentado pelo AI; |
| $E_{AI\%VFS}$ | erro percentual relativo a tensão de fundo de escala apresentado pelo AI; |
| E_{CTLK} | erro de "crosstalk" apresentado pelo multiplexador; |
| E_{CAD} | erro em tensão apresentado pelo CAD; |
| $E_{CAD\%VFS}$ | erro percentual relativo a tensão de fundo de escala apresentado pelo CAD; |
| E_{CMRR} | erro devido a CMRR do AI; |
| E_{CTD} | erro devido ao coeficiente de temperatura dos desvios do CAD; |
| E_{CTG} | erro devido ao coeficiente de temperatura do ganho do CAD; |

| | |
|---------------------|--|
| E_{CTL} | erro devido ao coeficiente de temperatura da linearidade do CAD; |
| E_D | erro devido aos desvios apresentado pelo CAD; |
| E_{DT} | erro de desvio de tensão apresentado pelo multiplexador; |
| E_{DVR} | erro devido a perda de tensão no capacitor de retenção apresentado pelo S/H; |
| $E_{f(Av)}$ | erro devido a não linearidade do ganho ($f(Av)$); |
| $E_{FPB\%VFS}$ | erro percentual relativo a tensão de fundo de escala do FPB; |
| E_G | erro devido a variação de ganho dos circuitos funcionais; |
| E_{I_B} | erro devido a I_B ; |
| $E_{I_{OS}}$ | erro devido a I_{OS} ; |
| E_L | erro de linearidade do ganho apresentado pelo CAD; |
| E_{LT} | erro a longo termo devido a variação das características do CAD; |
| E_{MUX} | erro em tensão apresentado pelo AMUX; |
| $E_{MUX\%VFS}$ | erro percentual relativo a tensão de fundo de escala do AMUX; |
| E_Q | erro de quantização apresentado pelo CAD; |
| E_{RFT} | erro de resposta em frequência apresentado pelos circuitos funcionais; |
| E_S | erro sistemático; |
| $E_{S/H}$ | erro em tensão apresentado pelo S/H; |
| $E_{S/H\%VFS}$ | erro percentual relativo a tensão de fundo de escala do S/H; |
| E_{TAS} | erro total de aquisição do sistema; |
| E_{TRANS} | erro de transferência estático apresentado pelo AMUX; |
| E_{V_N} | erro devido a tensão de ruído total do AI; |
| $E_{V_{OS}}$ | erro devido a tensão de desvio (V_{OS}) apresentado pelos circuitos funcionais; |
| \mathcal{E}_{amp} | erro sobre a amplitude do sinal sendo processado devido a truncamento das harmônicas; |
| \mathcal{E}_{amp} | erro sobre o valor eficaz do sinal sendo processado devido a truncamento das harmônicas; |
| $f(Av)$ | não linearidade do ganho apresentado pelos circuitos funcionais; |
| f_c | frequência de corte do circuito funcional; |

| | |
|------------|---|
| FPB | filtro passa baixas; |
| FPI | filtro para instrumentação; |
| G | ganho do circuito funcional; |
| I_B | corrente de polarização das entradas do amplificador; |
| i_n | corrente de ruído do amplificador; |
| I_{OS} | corrente de desvio do amplificador de instrumentação; |
| I_{OUT} | corrente de fuga na saída do multiplexador com chaves abertas; |
| I_S | corrente de fuga na entrada do multiplexador com chaves abertas; |
| IBM | "International Business Machines"; |
| IM | incerteza de medição; |
| LSB | bit menos significativo ("least significant bit") do CAD; |
| PGB | produto ganho banda do amplificador; |
| q | intervalo de quantização que representa a resolução de um 1 LSB do CAD; |
| R_{on} | resistência de condução da chave do multiplexador; |
| R | resolução; |
| R_S | resistência de fonte; |
| S/H | circuito de amostragem e retenção; |
| S_R | máxima variação de tensão suportada por circuito funcional para operação de forma linear ("Slew Rate"); |
| t_{HOLD} | tempo de retenção utilizado no S/H; |
| T_{ac} | tempo de aquisição do S/H; |
| T_{ap} | tempo de abertura das chaves do S/H; |
| T_{aut} | tempo de incerteza de abertura das chaves do S/H; |
| t_{open} | tempo de abertura das chaves do AMUX; |
| t_{off} | tempo de fechamento das chaves do AMUX; |
| V_i | tensão de entrada do circuito funcional; |
| V_o | tensão de saída do circuito funcional; |
| V_o^* | sinal de saída alterado pelo erro de resposta em frequência do circuito funcional; |

| | |
|-------|---|
| v_n | tensão de ruído do amplificador; |
| VAL | valor percentual de parâmetro em questão; |
| VFS | tensão de fundo de escala; |
| Vos | tensão de desvio do amplificador de instrumentação; |

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um programa (PROCAD) que permita a projetistas de sistemas de aquisição digital de variáveis analógicas a análise de seus projetos. O projetista poderá conhecer o erro total de aquisição a partir dos erros individuais de cada bloco utilizado no projeto sem a necessidade de implementação física do mesmo.

Programas como o PROCAD devem ser utilizados de forma intensiva reduzindo o tempo de projeto, melhorando a qualidade do produto final bem como economizando recursos humanos e materiais.

Os dados fornecidos pelo programa PROCAD por se apresentarem de forma padronizada podem ser utilizados por outros sistemas.

ABSTRACT

A program called PROCAD, wich scope is evaluate system errors, was developed and tested making possible to systems engineers verify project of digital acquisition of analog variables. The user will identify the total acquisition errors by the individual error of each component used in the system.

The program provides a usefull quantitative measure of overall performance and indicates where improvement is possible in achieving the desired accuracy. The operation indicates where are the larger errors and what componentes can be replaced to get the desired accuracy. In order to do the replacement there is a library with comercial components that can be choose from.

As a result, this testing metodology is flexible and can be easily implemented with the program without difficult, providing improvement in design time and resources spent.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

Sistemas de aquisição digital de sinais apresentam a função de realizar tratamento de sinais analógicos presentes em sua entrada, para posterior amostragem e conversão destas em valores digitais de número finito de bits. A etapa de tratamento é necessária na adequação do nível do sinal de entrada, atenuação de sinais indesejáveis e prevenção contra o fenômeno de recobrimento de espectro.

Estes sistemas de aquisição são constituídos por circuitos funcionais, normalmente dispostos em cascata. Os circuitos funcionais são componentes eletrônicos (amplificadores de instrumentação, filtros, multiplexadores analógicos, circuitos de amostragem e retenção e conversores analógico/digital) que executam uma função pré-definida entre a entrada e a saída. O comportamento destes circuitos, de forma diferente da ideal, leva ao surgimento de desvios que alteram o valor do sinal sendo processado. A combinação dos desvios de todos os circuitos especifica uma faixa de valores dentro do qual, com uma probabilidade estatística definida, se situará o erro de medição (IM), chamado também de erro total de aquisição. Uma vez que o sinal seja amostrado e convertido em valor digital este erro não pode ser eliminado, fazendo parte então das etapas posteriores que venham a ser realizadas (medição, registro, controle de variáveis e processo, etc.)

Os circuitos funcionais disponíveis apresentam características que os tornam apropriados para processamento de sinais de determinadas morfologias (amplitude e componentes frequenciais definidas). A dependência do desempenho dos circuitos funcionais com a morfologia do sinal sendo processado e a possibilidade de utilização destes circuitos em diferentes estruturas faz com que seja comum a realização de projeto específico para cada aplicação. A tentativa de desenvolvimento de sistema que atenda larga faixa de aplicações e seja

capaz de processar sinais de diferentes morfologias leva a incorporação de circuitos funcionais que na maioria dos casos não são utilizados. Ocorre ainda, na maioria destes casos, o superdimensionamento das especificações dos circuitos selecionados. O excesso de circuitos funcionais e seu superdimensionamento é sentido nos altos custos dos sistemas resultantes. Estes custos podem inviabilizar a utilização destes sistemas em muitas aplicações.

A função do projetista de sistemas de aquisição digital de sinais é a escolha dos circuitos funcionais e a definição de sua estrutura de forma a manter o erro total de aquisição abaixo de valor determinado. Deve haver ainda a preocupação com a obtenção de estrutura que apresente custo aceitável. Na execução desta tarefa calcula-se o erro individual de cada circuito, para após estimar-se o erro total de aquisição do sistema. Este procedimento é muito demorado por necessitar de grande volume de cálculos. Os cálculos sendo executados manualmente tornam o processo propenso a erros que, quando não detectados, levam a funcionamento inadequado do sistema projetado.

1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Sistemas de aquisição digital de sinais são sistemas analógicos complexos cujo desempenho depende dos circuitos funcionais selecionados e da morfologia do sinal sendo processado. As primeiras publicações encontradas abordando este assunto datam do início dos anos 70. A literatura desta época demonstra a preocupação com o desempenho individual dos circuitos funcionais existentes. Como exemplo tem-se Zuch [28, 29, 30, 31] que, apoiado por fabricante de componentes eletrônicos, estudou o comportamento de alguns circuitos funcionais individualmente.

A existência de inúmeras estruturas possíveis para solução de uma mesma aplicação aliada as características dos circuitos funcionais utilizados na sua implementação (desempenho

dependente da morfologia do sinal sendo processado) sempre limitaram publicações tratando da metodologia de análise destes sistemas.

A literatura encontrada atualmente, na sua maioria proveniente dos fabricantes destes circuitos funcionais, continua focalizando circuitos funcionais específicos. Como exemplo de publicação recente que trata especificamente de um tipo de componente tem-se Ushani [32] descrevendo em uma série de artigos o funcionamento, especificações e forma de teste dos conversores analógico-digitais do tipo "subranging". Artigos deste tipo são necessários, mas falham por apresentar um componente como a solução para qualquer sistema de aquisição digital de sinais e por não levar em consideração o comportamento do restante do sistema.

Poucos autores preocupam-se em desenvolver metodologias de análise de sistemas de aquisição digital de sinais. São comuns publicações como as de Logan [18] e Leibson [17] que descrevem alguns sistemas e a forma de entender as suas especificações. Os exemplos que a literatura oferece de tentativas de estabelecer metodologias de cálculo do erro total de aquisição são Garret [13] e Fazekas [11]:

- Garret [13] pretende em seu livro apresentar uma metodologia para análise de projeto de sistemas de aquisição digital de sinais. O autor apresenta os circuitos funcionais constituintes destes sistemas, propondo forma de cálculo do erro individual destes blocos bem como a forma de se estimar o erro total de aquisição do sistema a partir deste erros. O trabalho, porém, negligência desvios (erros sistemáticos e aleatórios) apresentados pelos componentes que podem em determinados casos afetar de forma substancial o funcionamento do sistema. Um ponto apresentado de forma obscura é o cálculo do erro de resposta em frequência que o circuito de filtragem impõe ao sinal sendo processado. Neste ponto Garret encontra dificuldade em computar a influência da morfologia do sinal no erro em questão. Este mesmo erro de resposta em frequência é negligenciado nos amplificadores de instrumentação e circuitos de amostragem e retenção.
- Fazekas [11], em seus artigos, apresenta uma forma sistemática de determinação do desempenho do sistema a partir do ruído total do sistema em sua saída. Este ruído total é

constituído pela composição do ruído apresentado em cada circuito utilizado na cadeia de aquisição. A limitação do estudo se encontra na análise somente dos desvios devido a fontes de ruído, não levando em consideração outras fontes de erro que apresentam valores mais elevados que o ruído. Apesar da sua limitação Fazekas inova ao agrupar as informações na forma de tabelas que podem ser mais facilmente manipuladas pelo projetista com a utilização de planilhas eletrônicas.

1.3 PROPOSTA DE TRABALHO

As tentativas de se quantificar o erro total de aquisição do sistema descritos na literatura não atingem plenamente seus objetivos por serem muito específicas ou por não descreverem de forma completa a metodologia utilizada. Além das falhas citadas não há trabalho conhecido que descreva uma forma eficiente de mecanizar o cálculo dos erros individuais dos blocos e a obtenção do erro total de aquisição do sistema.

É necessário o desenvolvimento de trabalho que apresente uma completa metodologia para quantificação do erro total de aquisição. Esta metodologia permitiria a mecanização do cálculo dos erros dos circuitos funcionais e do erro total de aquisição. Seria possível então obter-se maior velocidade no projeto destes sistemas além de eliminar uma grande fonte de erros que é o cálculo manual. É útil ainda a criação de base de dados que permita ao projetista manter um histórico de trabalhos anteriores com seus comentários facilitando a tarefa de realizar novos projetos.

O presente trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de programa auxiliar de projeto de Sistemas de Aquisição Digitais de Sinais. O programa permitirá ao projetista:

- Obter erro individual de cada circuito funcional;
- Obter erro total de aquisição do sistema;

- Otimização do projeto através da identificação de pontos críticos do projeto;
- Estabelecer ao final do projeto o número de bits significativos da palavra digital;
- Criar base de dados de componentes e de projetos realizados;

O programa deve apresentar estrutura modular, ser de fácil operação com uma interface amigável com o usuário. O projetista deve ter a sua disposição uma biblioteca de componentes normalmente utilizados em sistemas de aquisição digital de sinais. A biblioteca deverá ser ampliável pelo próprio projetista de acordo com suas necessidades ao longo do trabalho.

As estruturas fornecidas ao usuário permitem a realização de projeto por análise que é uma metodologia iterativa. Nesta metodologia parte-se de estrutura proposta inicialmente para se chegar a uma estrutura definitiva otimizada. A otimização é obtida através de sucessivas correções de acordo com dados provenientes das análises realizadas pelo programa.

O programa critica o projeto apresentado quanto a características de circuitos funcionais que venham a prejudicar o perfeito funcionamento da estrutura para a aplicação desejada. A aplicação é caracterizada neste estudo pelo tipo de sinal presente na entrada do sistema de aquisição.

O programa pretende reduzir o tempo de projeto e garantir melhor qualidade das estruturas projetadas. O programa auxiliará ao usuário fornecendo informações que permitirão a utilização do sistema projetado de forma adequada, conhecendo-se suas potencialidades e limitações.

O presente trabalho se apresenta organizado em cinco capítulos, sendo no primeiro capítulo realizada a apresentação dos objetivos do presente trabalho.

No segundo capítulo apresenta-se a metodologia utilizada no desenvolvimento do programa PROCAD. Neste mesmo capítulo apresenta-se a metodologia utilizada pelo "software" para o cálculo dos erros individuais dos circuitos funcionais e a forma de cálculo do erro total de aquisição do sistema.

No terceiro capítulo descreve-se o programa, objeto deste trabalho que será chamado PROCAD, sua estrutura e forma de utilização.

No quarto capítulo apresentam-se alguns exemplos de sistemas de aquisição que foram analisados utilizando-se o programa PROCAD.

No quinto capítulo, são apresentadas as conclusões, avaliando-se o trabalho realizado e propondo-se novos trabalhos a desenvolver a partir deste ponto.

CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA

2.1 INTRODUÇÃO

Apresenta-se neste capítulo a metodologia utilizada no desenvolvimento do programa PROCAD, que é um "software" auxiliar ao projeto de sistemas de aquisição digital de sinais.

Apresenta-se também a metodologia utilizada no programa para a análise dos circuitos funcionais constituintes destes sistemas. Esta metodologia mostra a técnica utilizada no cálculo do erro introduzido pelos circuitos funcionais utilizados e também a forma de combinação destes erros para obtenção do erro total de aquisição.

A metodologia de análise dos circuitos funcionais segue a proposta de Garret [13] com adaptações necessárias, que são parte integrante deste trabalho. Entre as adaptações citam-se introdução de termos metrológicos, cálculo incorporando a morfologia do sinal tanto na filtragem quanto nas outras etapas e organização voltada para o projeto por análise. Não é objetivo deste trabalho realizar projeto de circuitos eletrônicos funcionais utilizados nestes sistemas.

2.2 ESTRUTURA DO PROGRAMA

A proposta de trabalho apresentada no capítulo 1 foi realizada a partir do estudo do problema proposto. Apresentaram-se as características desejáveis do programa a ser desenvolvido. A partir destas características foram definidas as tarefas básicas que o "software" deve realizar:

- gerenciamento de biblioteca de circuitos funcionais e fontes de sinal, permitindo a atualização de parâmetros e acréscimo de componentes quando necessário;
- permitir a composição de sistemas utilizando os componentes disponíveis na biblioteca;

- analisar o sistema proposto utilizando-se de metodologia proposta, apresentando então os resultados na tela ou em relatórios impressos;

Esta análise inicial permitiu o desenvolvimento de modelo lógico do "software" a ser desenvolvido. Este modelo é apresentado na figura 1 através do diagrama de fluxo de dados.

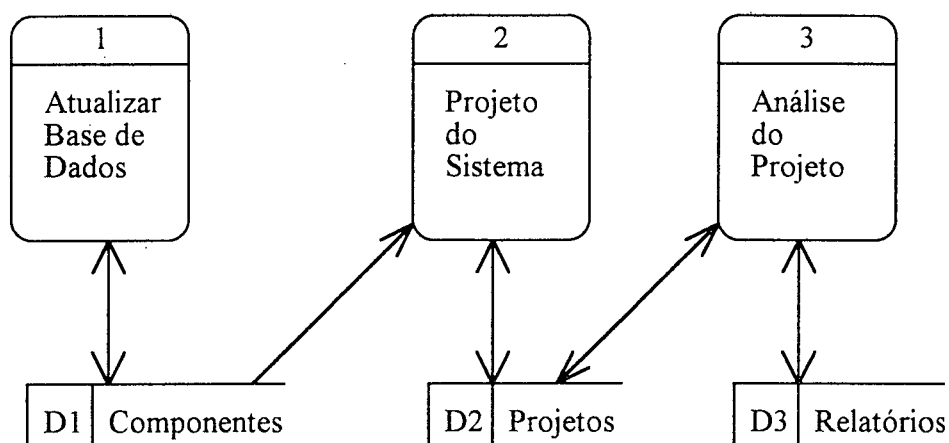


Figura 1 - Diagrama de fluxo de dados do sistema

A partir deste modelo lógico foi realizado o projeto preliminar e o projeto detalhado do "software". Até este ponto não havia definição sobre o ambiente a ser utilizado no desenvolvimento. Na figura 2 apresenta-se a estrutura do "software" resultante. Os módulos componentes deste sistema serão descritos a seguir.

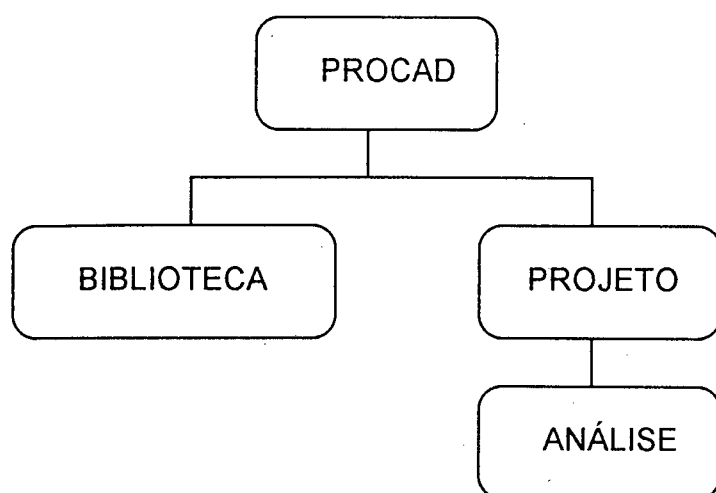


Figura 2 - Estrutura do Programa PROCAD

2.3 MÓDULO BIBLIOTECA

Através do módulo biblioteca tem-se acesso a biblioteca de circuitos funcionais (AI, Filtros, AMUX, S/H e CAD) utilizadas na composição de sistemas de aquisição digital de sinais e fontes de sinal utilizadas na análise destes.

Além de permitir a visualização dos parâmetros de interesse destes circuitos funcionais e fontes de sinal presentes em sua base de dados, este módulo deve permitir a inclusão de novos componentes e alteração dos parâmetros já existentes quando necessário.

2.4 MÓDULO DE PROJETO

O módulo projeto permite a composição de sistemas de aquisição digital de sinais através da seleção de componentes existentes na biblioteca. Nesta etapa não é permitida a alteração de parâmetros dos componentes funcionais, somente sua utilização.

No módulo projeto são definidos parâmetros importantes para que se possa realizar a análise do projeto (amplitude e frequência da fonte de sinal utilizada, variação de temperatura considerada, etc.).

2.5 MÓDULO DE ANÁLISE

O módulo de análise aplica a metodologia de análise dos sistemas de aquisição digital de sinais determinando o erro individual de cada circuito funcional constituente estimando-se então o erro total de aquisição do sistema.

Neste ponto torna-se necessária a apresentação da metodologia utilizada no cálculo dos erros individuais dos componentes funcionais bem como a forma de combiná-los para obtenção do erro total de aquisição.

A) ERRO DO CIRCUITO FUNCIONAL

Antes da apresentação dos circuitos funcionais de interesse são apresentados termos metrológicos. Não é objetivo realizar estudo minucioso deste ponto, mas sim introduzir definições que auxiliem na compreensão do trabalho:

- Resolução (R) : é a menor variação da grandeza a se medir que pode ser indicada/registrada pelo sistema;
- Erro Sistemático (E_s) : é a parcela do erro sempre presente nas medições realizadas em idênticas condições de medição;
- Erro Aleatório (E_a) : é a parcela do erro que surge em função de fatores aleatórios como o ruído;

- Correção (C) : é o processo de eliminação de erro sistemático de valor conhecido;
- Incerteza de medição (IM) : é o valor que expressa o maior erro que o mesmo poderá impor à medida, ao longo de toda sua faixa de operação. Ao longo do texto refere-se muitas vezes a esta definição como erro total de aquisição.

O erro do circuito funcional é definido como a diferença de amplitude entre o sinal de saída e o sinal de entrada para uma situação pré-estabelecida (valor de pico, valor eficaz, etc.). O sinal de entrada atua sempre como padrão. O erro individual de cada circuito funcional é formado por vários desvios sendo a combinação destes desvios neste caso a composição realizada pela média quadrática. Para que esta composição possa ser realizada deve-se garantir que as variáveis envolvidas sejam independentes e que apresentem uma distribuição gaussiana. O procedimento para cálculo do erro total de aquisição a partir dos erros individuais dos circuitos funcionais pode ser realizado desde que as propriedades de independência e distribuição gaussianas das variáveis sejam respeitadas como no caso anterior.

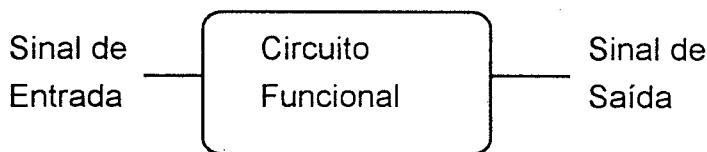


Figura 3 - Processamento do sinal através do circuito funcional

O erro é sempre definido para sinais que atinjam o valor de fundo de escala do componente funcional (valor denominado VFS).

B) FONTES DE SINAL

Os sinais padronizados permitem a escolha de uma fonte mais próxima da excitação real do sistema, permitindo conhecer o comportamento de todos os componentes na situação desejada. As fontes de sinal que Garret [13] propõe para esta análise são: DC, senoidal, triangular, trapezoidal e dente de serra.

Na tabela abaixo apresentam-se as fontes de sinal com sua respectiva decomposição em série de Fourier. A decomposição dos sinais em série de Fourier é necessária para a implementação do cálculo do erro de resposta em frequência dos circuitos funcionais que leva em consideração a morfologia do sinal sendo processado. A forma de cálculo deste erro será discutida junto aos circuitos funcionais onde este se aplica.

| Tipo de Sinal | Decomposição |
|----------------|---|
| DC | $f(t) = \text{constante}$ |
| Senoidal | $f(t) = \text{sen}(wt)$ |
| Triangular | $f(t) = \cos(wt) + \frac{1}{3} \cos(3wt) + \frac{1}{5} \cos(5wt) \dots$ |
| Dente de Serra | $f(t) = \text{sen}(wt) + \frac{1}{2} \text{sen}(2wt) + \frac{1}{3} \text{sen}(3wt) \dots$ |
| Trapezoidal | No caso da onda trapezoidal deve-se levar em conta a taxa de subida do sinal. Não há desta forma uma decomposição única para este caso. |

Figura 4 - Decomposição das fontes de sinal em série de Fourier

Como as séries de Fourier apresentam infinitas componentes é necessária alguma forma de truncamento para sua utilização prática. Três são as forma propostas:

- Considerando que sinais físicos decrescem tipicamente 20 dB / década a partir de sua componente de frequência fundamental Garret [13] recomenda o truncamento a partir de harmônicas cujo módulo é inferior a 10 % da fundamental. Este critério, até certo ponto empírico não pode ser utilizado quando se desconhece a morfologia do sinal;
- Quando o interesse estiver centrado no valor eficaz do sinal o critério pode ser o do erro sobre o valor eficaz, adotando-se um valor pré-definido (ε_{rms});
- O erro pode também ser fixado em função da discrepância do valor da amplitude do sinal original e da amplitude do sinal truncado. Neste caso estabelece-se o erro ε_{amp} tendo como referência a tensão de fundo de escala (VFS), para indicar conteúdo harmônico a ser utilizado.

C) AMPLIFICADORES DE INSTRUMENTAÇÃO

Segue-se, com algumas modificações a metodologia proposta por Garret. Garret considera no cálculo do erro individual deste circuito somente os erros aleatórios que são as derivas, efeito do CMRR e ruído (circuito corrigido). Faz-se necessária a introdução do erro de resposta em frequência, e de erros sistemáticos para completar o levantamento. O erro de resposta em frequência leva em consideração a variação do ganho do componente com a frequência e a não linearidade da fase. A forma de cálculo deste erro é mostrada com maiores detalhes antes da apresentação da tabela com os parâmetros considerados no cálculo do erro individual do circuito.

O amplificador de instrumentação pode fornecer ganho ao sistema, levando a apresentação de parâmetros referenciados à entrada ou à saída. Deve-se buscar manter a coerência com todos os parâmetros referidos a um dos lados. Neste trabalho são apresentados todos os erros referidos a entrada.

Exceto os erros de resposta em frequência os demais são erros clássicos e incluídos nos trabalhos de Garret [13] e Zuch [28, 29, 30, 31].

A função de transferência proporciona o surgimento de desvios de ganho e fase nas componentes freqüenciais do sinal sendo processado. O sinal na saída apresenta então desvio da sua forma original. O erro de resposta em freqüência é a quantificação do desvio provocado pela função de transferência. A função de transferência é aproximada neste trabalho pelo modelo de primeira ordem. A forma de cálculo do erro de resposta em freqüência é apresentada abaixo:

$$Av(s) = \frac{A_{vo}}{(1 + s / w_c)} \quad (01)$$

$$|Av(s)| = \frac{A_{vo}}{\sqrt{1 + (w / w_c)^2}} \quad (02)$$

$$\angle Av(s) = -\arctg(w / w_c) \quad (03)$$

A metodologia utilizada para o cálculo do erro de resposta em freqüência é apresentada a seguir :

- Definir o sinal $f(t)$ a ser processado, procurando conhecer todas as suas componentes freqüenciais;
- Calcular para cada componente de $f(t)$ os desvios de ganho e fase introduzidos pelo amplificador;
- Reconstruir o sinal, que na saída passa a ser denominado $f^*(t)$, levando-se em conta todos os desvios calculados anteriormente;

$$f(t_1) \rightarrow AI \rightarrow f^*(t_1)$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$f(t_n) \rightarrow AI \rightarrow f^*(t_n)$$

- O erro de resposta em frequência é calculado em função de critério estabelecido, que pode ser: a diferença entre o valor eficaz do sinal de entrada e o de saída ou o maior erro obtido para conjunto de pontos de um período do sinal com referência ao valor de fundo de escala. Neste caso calcula-se erro de amplitude (E_A) através da comparação entre o sinal reconstruído após o processamento e o sinal original. O erro de resposta em frequência (E_{RFT}) será o maior valor obtido em toda a faixa estudada.

$$E_A(i) = f(t_i) - f'(t_i) \quad (04)$$

$$E_{RFT} = \text{Maior Valor do Conjunto } \{E_A(t_1), \dots, E_A(t_n)\} \quad (05)$$

Após calculados todos os desvios apresentados pelo amplificador pode-se calcular o erro individual do componente:

$$E_{AI} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (E_i)^2} \quad (06)$$

$$E_{AI \% V_{FS}} = \frac{E_{AI} \cdot G \cdot 100}{V_{FS}} \quad (07)$$

| Parâmetro | Forma de Cálculo do Desvio | Observação |
|-----------------------------|---|---|
| CMRR | $E_{\text{CMRR}} = \frac{V_{\text{cm}}}{\text{CMRR}}$ | Erro Aleatório |
| I_{os} | $E_{\text{Ios}} = I_{\text{os}} \cdot R_s$ | Erro Sistemático |
| V_{os} | $E_{\text{Vos}} = V_{\text{os}}$ | Erro Sistemático |
| G | $E_G = \text{VAL} \cdot \frac{\text{VFS}}{G}$ | Erro Sistemático |
| I_B | $E_{\text{Ib}} = I_B \cdot R_s$ | Erro Sistemático |
| $f(A_v)$ | $E_{f(A_v)} = \text{VAL} \cdot \frac{\text{VFS}}{G}$ | Erro Aleatório |
| $\frac{dV_{\text{os}}}{dT}$ | $E_{\text{CTD}} = \frac{dV_{\text{os}}}{dT} \cdot dT$ | Erro Aleatório |
| $\frac{dI_{\text{os}}}{dT}$ | $E_{\text{CTD}} = \frac{dI_{\text{os}}}{dT} \cdot dT \cdot R_s$ | Erro Aleatório |
| $\frac{df(A_v)}{dT}$ | $E_{\text{CTD}} = \frac{df(A_v)}{dT} \cdot dT \cdot \frac{\text{VFS}}{G}$ | Erro Aleatório |
| IMRR | $E_{\text{IMRR}} = \frac{V_{\text{iso}}}{\text{IMRR}}$ | Erro Aleatório |
| V_N | $E_{V_N} = (V_t^2 + V_c^2 + v_n^2 + (i_n^2 \cdot R_s^2))^{1/2}$ | Erro Aleatório |
| PGB, f_c | $E_{\text{RFT}} = \left \frac{V_o - V_o^*}{V_o \cdot G} \right \cdot 100$ | Utilizado no cálculo do erro de resposta em frequência. |
| S_R | | Parâmetro que estabelece região linear de operação; |

Figura 5 - Levantamento dos erros do AI

Outra adaptação, proposta à metodologia de Garret, é a possibilidade de realizar-se a correção de alguns desvios apresentados por este componente (erros sistemáticos).

Tem-se assim duas possibilidades de cálculo do erro:

- com correção de erros sistemáticos (eliminando-se os erros devido a V_{os} , I_{os} , G , I_B);
- com correção de desvios devido a variação de temperatura;

- sem correção considerando-se todos os erros apresentados.

A possibilidade de correção dos erros sistemáticos permite ao projetista a visualização do circuito funcional operando de diferentes formas facilitando a sua tarefa de análise e escolha de componentes.

D) FILTROS PARA INSTRUMENTAÇÃO

O desvio que o filtro impõe ao sinal sendo processado depende do tipo de aproximação selecionada (Butterworth, Chebyshev, Bessel, etc.) , da sua ordem e também do próprio sinal sendo processado. A especificação do filtro é realizada levando-se em conta a faixa de frequências ocupada pelas componentes frequenciais do sinal e a taxa de amostragem a ser utilizada na conversão analógico-digital.

Como no caso do amplificador de instrumentação a função de transferência do filtro proporciona o surgimento de desvios de fase e ganho nas componentes frequenciais do sinal. O sinal na saída do filtro apresenta então desvio da sua forma original. O erro de resposta em frequência é a quantificação do desvio provocado pela função de transferência do filtro, sendo a forma de cálculo deste erro apresentada a seguir:

- Definir o sinal $f(t)$ a ser processado, procurando conhecer todas as suas componentes frequenciais;
- Calcular para cada componente de $f(t)$ os desvios de fase e ganho introduzidos pela função de transferência do filtro;

- Reconstruir o sinal, que após o processamento passa a ser denominado $f^*(t)$, levando-se em conta todos os desvios calculados anteriormente;

$$f(t_1) \rightarrow AI \rightarrow f^*(t_1)$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$f(t_n) \rightarrow AI \rightarrow f^*(t_n)$$

- O erro de resposta em frequência é calculado em função de critério estabelecido, que pode ser: a diferença entre o valor eficaz do sinal de entrada e o de saída ou o maior erro obtido para conjunto de pontos de um período do sinal com referência ao valor de fundo de escala. Neste caso calcula-se erro de amplitude (E_A) através da comparação entre o sinal reconstruído após o processamento e o sinal original. O erro de resposta em frequência (E_{RFT}) será o maior valor obtido em toda a faixa estudada.

$$E_A(i) = f(t_i) - f'(t_i) \quad (08)$$

$$E_{RFT} = \text{Maior Valor do Conjunto } \{E_A(t_1), \dots, E_A(t_n)\} \quad (09)$$

No caso do filtro para instrumentação o erro de resposta em frequência é o próprio erro individual do componente. Esta metodologia para cálculo de desvio proposta difere da de Garret. Garret em seu trabalho define o erro de resposta em frequência como sendo a média dos desvios de fase e ganho das componentes, sem avaliar os efeitos sobre o sinal sendo processado. Optou-se então por propor uma nova metodologia de cálculo para este desvio que refletisse o efeito da função de transferência sobre a onda reconstruída.

Como não é função dos filtros fornecer ganho ao sistema, são considerados filtros com ganho unitário que dispensa a preocupação com a referência a entrada ou a saída como no caso dos amplificadores de instrumentação.

E) MULTIPLEXADORES ANALÓGICOS

Segue-se, com alguma modificação a metodologia proposta por Garret para cálculo do erro individual. A adaptação realizada neste caso é a inclusão de um limite à frequência de operação do circuito devido aos tempos de chaveamento.

| Parâmetro | Forma de Cálculo do Desvio | Observação |
|----------------------|---|---|
| R_{ON} | $V_o = (\frac{R_{in}}{R_{in} + R_{on}}) \cdot V_i$ $E_{Trans} = V_o - V_i$ | Erro Aleatório |
| I_{OUT} | $E_{DT} = R_{ON} \cdot I_{OUT}$ | Erro Aleatório |
| E_{ACM} | $E_{ACM} = 0,2 \%V_{FS} \text{ para } 5 \text{ constantes de tempo}$ $= 0,1 \%V_{FS} \text{ para } 7 \text{ constantes de tempo}$ $= 0,01 \%V_{FS} \text{ para } 9 \text{ constantes de tempo}$ | Erro Aleatório |
| "Crosstalk" | $E_{CTLK} = VAL \cdot VFS$ | Erro Aleatório |
| t_{off} , t_{open} | | Determina qual a máxima frequência de operação do componente. |

Figura 6 - Levantamento dos erros do AMUX

Após calculados os desvios apresentados pelo multiplexador analógico pode-se realizar a combinação dos mesmos para a obtenção do erro do circuito funcional.

$$E_{MUX} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (E_i)^2} \quad (10)$$

$$E_{MUX\%VFS} = \frac{E_{MUX} \cdot 100}{VFS} \quad (\%VFS) \quad (11)$$

O multiplexador é um bloco que oferece ganho unitário ao sistema não sendo necessária a preocupação do projetista com a referência dos parâmetros como no amplificador de instrumentação.

F) CIRCUÍTO DE AMOSTRAGEM E RETENÇÃO (S/H)

Segue-se, com algumas adaptações a metodologia proposta por Garret [13]. Considera-se o erro de resposta em frequência que Garret não leva em consideração.

O erro de resposta em frequência apresentado pelos circuitos de amostragem e retenção é calculado da mesma forma que os amplificadores de instrumentação, não sendo necessária a repetição do procedimento de cálculo.

Outro ponto a ser citado é o ganho unitário apresentado pelo circuito funcional que dispensa a necessidade de referenciar parâmetros a entrada ou a saída como o amplificador de instrumentação.

| Parâmetro | Forma de Cálculo do Desvio | Observação |
|------------------------|---|---|
| DVR | $E_{DVR} = DVR \cdot t_{HOLD}$ | Erro Aleatório |
| Absorção Dielétrica | $E_{ABDI} = VAL \cdot VFS$ | Dependente do tipo de capacitor utilizado |
| G | $E_G = VAL \cdot \frac{VFS}{G}$ | Erro Sistemático |
| I_B | $E_{I_B} = I_B \cdot R_S$ | Erro Sistemático |
| I_{OS} | $E_{I_{OS}} = I_{OS} \cdot R_S$ | Erro Sistemático |
| V_{OS} | $E_{V_{OS}} = V_{OS}$ | Erro Sistemático |
| $f(Av)$ | $E_{f(Av)} = VAL \cdot \frac{VFS}{G}$ | Erro Aleatório |
| PGB, f_c | $E_{RFT} = \left \frac{V_O - V_O^*}{V_O} \right \cdot 100$ | Parâmetros utilizado no cálculo do erro de resposta em frequência |
| E_{ACQ} | $E_{ACQ} = 2\%V_{FS}$ para 1 constante de tempo $= 1\%V_{FS}$ para 2 constantes de tempo $= 0,1\%V_{FS}$ para 7 constantes de tempo $= 0,01\%V_{FS}$ para 9 constantes de tempo $= 0,001\%V_{FS}$ para 11 constantes de tempo | Erro aleatório |
| CTD | $E_{CTD} = CTD \cdot dT \cdot VFS$ | Erro aleatório |
| "Feedthrough" | $E_{FEED} = VAL \cdot VFS$ | Erro aleatório |
| S_R | | Determina qual a máxima frequência de operação do componente. |

Figura 7 - Levantamento dos erros do S/H

Abaixo apresenta-se a forma pela qual os desvios apresentados pelo circuito funcional, e relacionados na figura 7, serão combinados para obtenção do erro total do mesmo.

$$E_{S/H} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (E_i)^2} \quad (12)$$

$$E_{S/H\%VFS} = \frac{E_{S/H} \cdot 100}{VFS} \quad (\%VFS) \quad (13)$$

Há a possibilidade de realizar-se a correção de alguns desvios apresentados por este componente (erros sistemáticos). Tem-se assim duas possibilidades de cálculo o erro com e o erro sem correção como no caso do amplificador de instrumentação.

G) CONVERSORES ANALÓGICO-DIGITAIS

Um erro comum na especificação de sistemas de aquisição digital de sinais é assumir-se o erro total como sendo a resolução do conversor analógico-digital. Como visto nos itens anteriores todos os circuitos funcionais apresentam desvios próprios que influenciam o erro total de aquisição do sistema. Os conversores analógico-digitais também apresentam uma série de desvios que serão apresentados a seguir.

Nos conversores analógico-digitais acrescentam-se uma série de erros sistemáticos que Garret não considera em sua proposta. Como exemplo destes erro sistemáticos tem-se o V_{os} e o desvio de ganho.

| Parâmetro | Forma de Cálculo do Desvio | Observação |
|-------------|--|------------------|
| q | $E_q = \frac{V_{FS}}{2^n} \cdot \frac{1}{2}$ | Erro aleatório |
| V_{os} | $E_D = V_{os}$ | Erro sistemático |
| Ganho | $E_G = VAL \cdot VFS$ | Erro sistemático |
| Linearidade | $E_L = VAL \cdot VFS$ | Erro aleatório |
| CTL | $E_{CTL} = VAL \cdot dT \cdot VFS$ | Erro aleatório |
| CTG | $E_{CTG} = VAL \cdot dT \cdot VFS$ | Erro aleatório |
| CTD | $E_{CTD} = VAL \cdot dT \cdot VFS$ | Erro aleatório |
| LT | $E_{LT} = VAL \cdot VFS$ | Erro aleatório |

Figura 8 - Levantamento do Erro do CAD

$$E_{CAD} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (E_i)^2} \quad (14)$$

$$E_{CAD\%VFS} = \frac{E_{CAD} \cdot 100}{VFS} \quad (\%VFS) \quad (15)$$

Há a possibilidade de realizar-se a correção de alguns desvios apresentados por este componente (erros sistemáticos). Tem-se assim, como nos outros circuitos funcionais duas possibilidades de cálculo o erro com e o erro sem correção.

H) SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE SINAIS

Neste ponto após a finalizada a descrição da forma de cálculo do erro individual dos circuitos funcionais que constituirão os sistemas de aquisição de sinais, apresenta-se a forma de

cálculo do erro total de aquisição. É através deste cálculo padronizado que é possível a avaliação comparativa de diferentes estruturas de sistemas de aquisição de sinais.

Após o cálculo do erro de cada circuito funcional listado abaixo, calcula-se o erro total de aquisição de acordo com a equação 15.

$E_{AI\%VFS}$: erro devido ao amplificador de instrumentação;

$E_{FPB\%VFS}$: erro devido ao filtro para instrumentação;

$E_{MUX\%VFS}$: erro devido ao multiplexador analógico;

$E_{S/H\%VFS}$: erro devido ao circuito de amostragem e retenção (S/H);

$E_{CAD\%VFS}$: erro devido ao conversor analógico digital;

$$E_{TAS} = \sqrt{E_{AI\%VFS}^2 + E_{FPB\%VFS}^2 + E_{MUX\%VFS}^2 + E_{S/H\%VFS}^2 + E_{CAD\%VFS}^2} (\%VFS) \quad (16)$$

A apresentação dos erros individuais de forma individualizada permite o projeto por análise. O projetista desta forma pode identificar componentes problemáticos no seu projeto inicial e substituí-los até alcançar um projeto otimizado com erro total de aquisição dentro do valor estabelecido. Tendo a possibilidade de avaliar o efeito da correção nos erros individuais pode-se ainda determinar a necessidade de correção de algum circuito funcional para atingir-se o erro total de aquisição desejado.

Outro dado que pode ser extraído do erro total de aquisição é o número eficaz de bits da palavra digital fornecida pelo CAD. Na figura 9 abaixo apresenta-se o número eficaz de bits para dado valor de erro de aquisição.

| Número de Bits | Resolução | Erro Admissível (%) |
|----------------|-----------|-----------------------|
| 3 | 1/8 | 12,8 |
| 4 | 1/16 | 6,4 |
| 5 | 1/32 | 3,2 |
| 6 | 1/64 | 1,6 |
| 7 | 1/128 | 0,8 |
| 8 | 1/256 | 0,4 |
| 9 | 1/512 | 0,2 |
| 10 | 1/1024 | 0,1 |
| 11 | 1/2048 | 0,05 |
| 12 | 1/4096 | 0,025 |

Figura 9 - Número eficaz de bits da palavra digital para determinados erros de aquisição

2.6 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

Com o fim do projeto deve-se definir o ambiente e as ferramentas necessárias a implementação do "software". Definiu-se no início do trabalho a necessidade do "software" apresentar uma interface amigável com o usuário. A escolha do ambiente sobre o qual o programa será executado determinará também o alcance que se pretende. Com base nestes pontos optou-se pela escolha do ambiente gráfico Windows da Microsoft, que permite a utilização de microcomputadores do tipo IBM-PC. Esta plataforma, um padrão existente no mercado, garante a possibilidade de utilização do "software" em grande número de instalações.

Após a seleção do ambiente é necessária a escolha das ferramentas para o desenvolvimento. O ambiente escolhido é o Visual Basic 3.0 da Microsoft. Este ambiente permite a criação de aplicativos executáveis sobre o ambiente gráfico Windows com a possibilidade de utilizar-se módulo gerenciador de banco de dados.

2.7 TESTES DO SISTEMA

Os módulos componentes do programa PROCAD são testados de duas formas: estrutural e funcional.

O teste estrutural, também chamado de teste da caixa branca, analisa o comportamento do programa, verificando se este realiza a tarefa para a qual foi projetado. O teste estrutural busca avaliar todas as instruções e os possíveis caminhos lógicos de execução do programa. Sem um teste rigoroso onde instruções ou possíveis caminhos não tenham sido testados há possibilidade de problemas posteriores. Testar o fluxo de dados permite determinar se há ligação entre as partes produtoras e consumidoras de informações dentro dos módulos.

O teste funcional (também chamado de teste da caixa preta) assume que nada se conhece a respeito dos módulos. Neste teste busca-se confirmar se os módulos realizam as transformações desejadas sobre blocos de dados. Podem ser inseridos dados sem coerência para teste de consistência do módulo. Um pedaço de código pode funcionar perfeitamente, mas não realizar de forma aceitável as tarefas previstas.

A realização destes testes permite a eliminação dos possíveis erros de desenvolvimento. Os teste finais ocorrem após a integração dos módulos. Estes testes do sistema como um todo, os testes de validação.

O teste de validação é realizado na prática inserindo-se componentes na biblioteca, compondo projetos com os mesmos e realizando a análise. Os resultados deste procedimento permitem determinar se o funcionamento é aceitável ou não.

No capítulo 4 como exemplo são apresentados projetos analisados utilizando-se o programa PROCAD.

CAPÍTULO 3 - PROGRAMA PROCAD

3.1 - INTRODUÇÃO

O programa PROCAD é uma ferramenta capaz de auxiliar o projetista de sistemas de aquisição de dados a computar o erro total de aquisição do sistema, bem como selecionar dentre os componentes disponíveis em suas bibliotecas, aqueles que devem ser utilizados para manter o erro total abaixo de um valor pré-determinado. Este capítulo descreve os aspectos funcionais do programa, apresentando sua estrutura e formas de utilização, ficando o estudo de casos para o próximo capítulo.

O programa foi desenvolvido na linguagem de programação VISUAL BASIC 3.0 da Microsoft [06,09,10], sendo dividido em quatro módulos: apresentação, biblioteca, projeto e análise de resultados, que serão descritos a seguir.

Inicialmente será descrito o módulo de apresentação que permite o direcionamento para os demais módulos, fornecendo informações de uso do programa.

Como segundo tópico tem-se o módulo de gerenciamento da biblioteca, responsável pela catalogação de componentes de acordo com suas funções.

Em terceiro lugar apresenta-se o módulo de projeto que permite ao usuário realizar o seu projeto, determinando todos os parâmetros para a realização do cálculo do erro individual dos circuitos funcionais e do erro total de aquisição. É também através do módulo projeto que se acessa o módulo análise dos resultados.

O quarto e último módulo a ser descrito é o módulo de análise dos resultados que apresenta o resultado do processamento do projeto do usuário. Através do módulo de cálculo e análise dos resultados é possível obter-se a impressão dos dados obtidos.

Na figura 10 tem-se a estrutura dos módulos componentes do programa PROCAD.

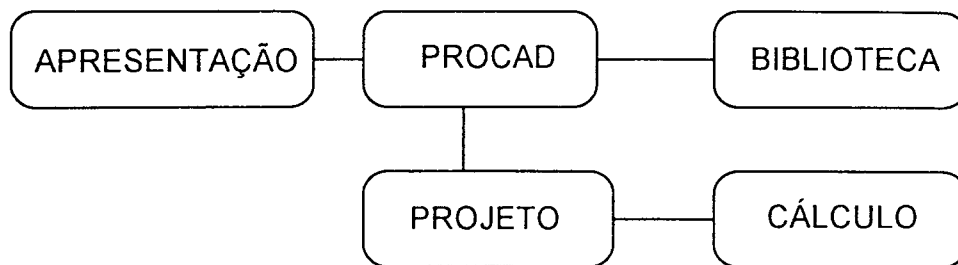


Figura 10 - Estrutura do programa PROCAD

3.2 - MÓDULO APRESENTAÇÃO

O módulo apresentação busca oferecer ao usuário uma introdução ao programa, com formas de utilização do programa e teclas úteis.

Na tela do módulo que pode ser vista na figura 11 há um pequeno histórico sobre o programa PROCAD mostrando sua finalidade e como buscar informações sobre sua operação.

No menu de comandos pode-se verificar a existência de duas opções: Projeto (acesso ao módulo de projeto) e Biblioteca (acesso ao módulo biblioteca), sendo o acesso ao módulo de cálculo e análise de resultados realizado através do módulo de projeto.

Há duas formas de obtenção de auxílio ("Help"):

- Através da tecla F1;
- Através da opção "Help" no menu de comandos.

Ao acessar-se a tela de auxílio o usuário escolhe, utilizando o mouse, o tópico que for de interesse e ao pressionar o botão de comando do mouse lhe será apresentado o texto percorrendo sobre o assunto selecionado.

3.3 - MÓDULO BIBLIOTECA

O acesso ao módulo Biblioteca realiza-se através da tela inicial do módulo de apresentação escolhendo-se a opção Biblioteca no menu de comandos. Imediatamente a tela do módulo Biblioteca será carregada fornecendo novas opções ao usuário.

O módulo biblioteca do programa PROCAD permite o acesso aos circuitos funcionais utilizando-se a opção Componente do menu de comandos, sendo então apresentado ao usuário uma lista com os blocos disponíveis: amplificadores de instrumentação, filtros para instrumentação, multiplexadores analógicos, circuitos de amostragem e retenção e conversores analógico / digitais. Cada uma destas opções apresentará uma lista com os componentes disponíveis em seus arquivos, para a escolha por parte do projetista. Para facilitar e permitir maior velocidade na busca de componentes nas bases de dados do programa cada circuito funcional apresenta um arquivo individual.

As fontes de sinal podem ser acessadas através da opção Sinais no menu de comandos.

Neste módulo é permitido ao usuário visualizar, realizar alterações nos parâmetros dos componentes existentes e adicionar novos componentes à biblioteca.

O único ponto em que pode se ajustar as características de um componente é no módulo biblioteca. Desta forma busca-se eliminar possíveis enganos por parte do operador.

As dimensões dos parâmetros encontram-se no campo ocupado pela identificação do parâmetro.

Como pode ser visto na figura 11, que representa a tela do módulo biblioteca, há campos de 1 a 13 onde são exibidos os parâmetros de cada componente.

O usuário deve escolher o tipo de componente desejado no menu para após selecionar na lista de componentes o item de interesse. Após esta seleção utiliza-se o comando **CARREGA** para acessar a biblioteca e visualizar os parâmetros do componente. As alterações necessárias podem ser

realizadas sobre os dados atuais do componente para após ser utilizado o comando **ATUALIZA** para que os novos dados passem a ocupar o lugar dos anteriores.

O comando **NOVO** é utilizado para inserção de um novo componente na biblioteca, sendo que para isto deve-se realizar a escolha de um tipo de componente.

BIBLIOTECA

Menu

Sinais

Componentes

Help

Nome :

Tipo :

Seleção :

Ganho :

d Ios/dT ($\mu\text{A}/^{\circ}\text{C}$) :

Vos (μV) :

d f(Av)/dT ($\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) :

IBias (nA) :

CMRR (dB) :

Ios (μA) :

PSRR (dB) :

dG (%) :

PGB (MHz) :

f(Av) (%) :

Vn (μV) :

d Vos/dT ($\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) :

SR (V/ μS) :

d IBias/dT (nA/ $^{\circ}\text{C}$) :

AD522

AD624

AD521

INA118

ATUALIZA

NOVO

CARREGA

Figura 11 - Tela do Módulo Biblioteca

A função de auxílio neste ponto é obtida através da tecla F1 ou através da opção "Help" no menu de comandos. Através desta função tem-se acesso a texto explicativo dos parâmetros presentes na biblioteca do programa, fornecendo também dados sobre a forma de utilização. O

usuário deve escolher no texto as palavras chaves de interesse, com a utilização do mouse (pressionando a tecla de comando sobre o assunto desejado) o texto selecionado vai ser mostrado.

3.4 - MÓDULO PROJETO

O módulo projeto é acessado através da seleção na tela inicial do campo Projeto no menu de comandos. Ao se realizar esta seleção a tela do módulo é carregada imediatamente fornecendo os comandos apropriados.

O projetista deve inicialmente determinar o arquivo que será utilizado para armazenar o novo projeto ou então recuperar um arquivo de projeto já realizado anteriormente. Se for um novo projeto o projetista deve apresentar todos os parâmetros necessários ao cálculo dos erros dos circuitos funcionais existentes :

- tensão de fundo de escala;
- variação de temperatura pretendida;
- desbalanceamento de resistência de fonte;
- ganho do amplificador de instrumentação;
- variação da fonte de alimentação;
- frequência da fonte de sinal;
- frequência de corte do filtro passa-baixas;
- frequência de amostragem utilizada na digitalização.

Caso sejam omitidos estes parâmetros serão adotados valores padrão que podem ser obtidos através da tela de auxílio.

Neste módulo o projetista compõe o sistema a ser analisado buscando os circuitos funcionais na biblioteca.

Na figura 12 tem-se a tela do módulo projeto com todos os campos disponíveis. Através da opção **NOVO** permite-se a criação de novos projetos. A opção **ATUALIZAR** permite que sejam alterados parâmetros existentes em um projeto existente.

A composição de novo projeto ou alteração de algum componente de projeto existente é realizada utilizando-se os componentes disponíveis no módulo biblioteca. O usuário seleciona qual circuito funcional a ser carregado através do ponteiro do mouse. Pressionando-se a tecla de seleção mostra-se a lista dos componentes armazenados na biblioteca. Pressionando-se a tecla de seleção novamente sobre o componente escolhido este passa a ocupar o seu respectivo campo dentro do projeto. O projetista pode escolher desta forma até 6 componentes para a criação de seu projeto.

Através dos campos Parâmetros, localizados a direita na figura 12 que apresenta o módulo de projeto, tem-se acesso a variáveis a serem definidas para a realização do cálculo do erro total de aquisição do sistema como variação de temperatura, VFS e frequência do sinal sendo processado entre outras.

Com a opção **CALCULAR** o usuário será enviado ao módulo de Cálculo e Apresentação de Resultados que utiliza a mesma tela do módulo de projeto para realizar a apresentação dos resultados do processamento do projeto.

Na figura 12 tem-se a tela do módulo de projeto onde se desenvolve um projeto. Na situação do exemplo os circuitos funcionais já foram selecionados e os parâmetros necessários ao cálculo do erro total de aquisição se encontram definidos.

Há no menu de comando a opção **IMPRIMIR** que permite a impressão do projeto realizado.

Projeto do Sistema

Menu Imprimir Help

PROJETO : ondatri.pri

SINAL : TRIANGULAR

AI : AD522

FILTRO : BUT_3

MUX : AD7502

S/H : AD585

CAD : AD574

Parâmetros :

VFS (V) : 10

dT (C) : 25 a 60

Rs (Ohms) : 1000

G do AI : 10

Fe (Hz) : 1000

Fs (Hz) : 10000

Fc do Filtro (Hz) : 1000

☒ Anula dT ☒ Anula Es

☒ Anula dt ☐ Vet

CARREGA NOVO ATUALIZA CALCULAR

Figura 12 - Tela do Módulo Projeto

É importante observar-se que primeiramente deve ser escolhido um tipo de fonte de sinal para utilização no processo de cálculo do erro. Caso não tenha sido selecionado nenhum circuito de fonte de sinal é escolhido o sinal padrão DC.

Neste módulo, o projetista não tem acesso à informações sobre os componentes além de seu nome, para qualquer informação adicional utiliza-se o módulo biblioteca.

Neste módulo o auxílio é obtido através da tecla F1 ou opção **HELP** do menu de comandos, que faz com que seja carregada janela com lista de itens para escolha. A escolha do item desejado faz surgir texto explicativo.

3.5 - MÓDULO CÁLCULO

Neste módulo o sistema alimentado por um arquivo descritivo de um projeto, gerado ou carregado durante a execução do módulo projeto, realiza a combinação dos erros dos blocos fornecendo como saída uma tabela descritiva do sistema com os erros individuais de cada bloco bem como o erro total utilizando-se a sistemática apresentada no capítulo 2.

Neste módulo pode-se obter relatórios impressos exibindo o projeto, o resultado do cálculo de erro individual e total do sistema.

Na figura 13 temos a tela de análise dos resultados, que permite a visualização dos resultados e o acesso aos serviços de impressão. Esta tela mantém as características da tela de projeto, com o acréscimo dos resultados do processamento das informações do projeto.

No caso apresentado tem-se uma fonte de sinal triangular seguida dos blocos presentes na biblioteca: amplificador de instrumentação; filtro; multiplexador analógico; circuito de amostragem e retenção e conversor analógico-digital.

A região existente para a apresentação dos resultados permite que sejam apresentados resultados de três processamentos realizados sobre o mesmo projeto com a alteração de parâmetros de cálculo (tensão de fundo de escala, frequência do sinal de entrada, etc.). Um exemplo desta utilização do módulo de cálculo pode ser vista na figura 14. Esta possibilidade permite que o projetista realize projeto por análise como foi citado na introdução (realizando sucessivas iterações ate encontrar o projeto ideal).

Projeto do Sistema

Menu Imprimir Help

PROJETO :

SINAL :

AI :

FILTRO :

MUX :

S/H :

CAD :

ERRO TOTAL :

BITS EQUIVALENTES :

RESULTADOS (2VFS) :

| | |
|-------|--|
| PRJ 1 | |
| .530 | |
| .002 | |
| .005 | |
| .005 | |
| .319 | |
| .618 | |
| 9 | |

Parâmetros :

VFS (V) :

dT (C) : a

Rs (Ohms) :

G do AI :

Fc (Hz) :

Fs (Hz) :

Fc do Filtro (Hz) :

☐ Anula dT ☒ Anula Es

☐ Anula dt ☒ Vef

Figura 13 - Tela de Apresentação de Resultados

Através da opção Arquivo do menu pode-se armazenar os resultados da análise do projeto bem como recuperar um projeto anterior para comparações.

O serviço de impressão acessado através do menu permite imprimir o projeto do usuário, os resultados que estão sendo apresentados ou então os dois elementos.

Neste módulo como nos demais o serviço de auxílio é realizado através da tecla F1 que permite o acesso ao texto global com informações sobre a utilização do programa.

Projeto do Sistema

Menu **Imprimir** **Help**

PROJETO :

SINAL :

AI :

FILTRO :

MUX :

S/H :

CAD :

ERRO TOTAL : 1.848

BITS EQUIVALENTES : 5

| RESULTADOS (2VFS) : | | | |
|---------------------|-------|-------|--|
| PRJ 1 | PRJ 2 | PRJ 3 | |
| 1.821 | 1.008 | .530 | |
| .002 | .002 | .002 | |
| .005 | .005 | .005 | |
| .005 | .005 | .005 | |
| .319 | .319 | .319 | |
| 1.848 | 1.057 | .618 | |
| 5 | 7 | 9 | |

Parâmetros :

VFS (V) :

dT (C) : a

R_s (Ohms) :

G do AI :

F_e (Hz) :

F_s (Hz) :

F_c do Filtro (Hz) :

☐ Anula dT ☒ Anula Es

☐ Anula dt ☒ Ver

CARREGA **NOVO** **ATUALIZA** **CALCULAR** **VER**

Figura 14 - Tela de Apresentação de Resultados com Três Casos Analisados

Como último aspecto a ser apresentado tem-se a visualização das formas de ondas desde a entrada do sistema até a entrada no conversor analógico-digital como mostrado na figura 15. Permite-se desta forma obtenção de informações adicionais como o ponto onde ocorreu o maior erro.

Projeto do Sistema

Menu **Imprimir** **Help**

PROJETO :

SINAL :

AI :

FILTRO :

MUX :

S/H :

CAD :

ERRO TOTAL :

BITS EQUIVALENTES :

| RESULTADOS (2VFS) : | | |
|---------------------|-------|-------|
| PRJ 1 | PRJ 2 | PRJ 3 |
| 1,821 | 1,008 | ,530 |
| ,002 | ,002 | ,002 |
| ,005 | ,005 | ,005 |
| ,005 | ,005 | ,005 |
| ,319 | ,319 | ,319 |
| 1,848 | 1,057 | ,618 |
| 5 | 7 | 9 |

CARREGA NOVO ATUALIZA CALCULAR VER

Figura 15 - Tela do Módulo de Apresentação de Resultados Utilizando a Opção **VER**

Neste módulo como nos demais o serviço de auxílio é realizado através da tecla F1 que permite o acesso ao texto global com informações sobre a utilização do programa.

CAPÍTULO 4 - AVALIAÇÃO DO PROGRAMA

4.1 - INTRODUÇÃO

Após a apresentação do programa PROCAD serão realizados testes para certificar o correto funcionamento do programa e mostrar a necessidade de ferramentas como esta. No estudo de casos serão apresentados dois sistemas diferentes de aquisição digital de variáveis analógicas.

Os três casos estudados são baseados em estrutura bastante utilizada na prática. Esta estrutura é constituída por : fontes de sinal, amplificador de instrumentação, filtro para instrumentação, multiplexador analógico, circuito de amostragem e retenção e conversor analógico digital. Os dados dos circuitos funcionais constantes das bibliotecas foram retirados dos manuais de seus fabricantes [01, 04].

No primeiro caso temos a análise de sistema de aquisição onde leva-se em conta todos os erros que os componentes apresentam sem que haja qualquer correção das não idealidades dos componentes.

No segundo caso tem-se os mesmos componentes utilizados no primeiro caso com a análise levando em consideração possíveis correções de alguns parâmetros dos blocos como tensão de desvio e erro de ganho.

Por último no terceiro caso, procura-se melhorar a performance do sistema através da escolha de componentes de melhor desempenho.

Os projetos escolhidos são apresentados mostrando o nome dos componentes que se encontram na biblioteca do programa PROCAD, o que permite a repetição dos cálculos sem maiores problemas. Após a apresentação da estrutura temos as telas do programa que apresentam os resultados do processamento.

4.2 - ESTUDO DE CASOS

Como primeiro caso tem-se a estrutura apresentada na figura 16, sendo um caso bastante comum na prática constituído por amplificador de instrumentação, um filtro para instrumentação (passa-baixas), multiplexador analógico, circuito de amostragem e retenção e um conversor analógico-digital. Os componentes utilizados apontam para uma solução de baixo custo, sendo o sinal utilizado como entrada para o sistema uma onda triangular de 10 Hz com amplitude de 1Vpico, por apresentar componentes em várias frequências o que é interessante na verificação do erro de amplitude do filtro, amplificador de instrumentação e circuito de amostragem e retenção. Neste caso utilizou-se uma variação de temperatura de 25°C, com um desbalanceamento da resistência de fonte da ordem de 1K Ω . Os erros de amplitude aqui apresentados são os erros totais.

| Tipo de Componente | Nome |
|--------------------|---|
| Fonte de Sinal | Triangular, 10Hz |
| AI | AD522A, Ganho = 10 |
| Filtro | Butterworth, ordem 3, $f_c = 1\text{KHz}$ |
| Multiplexador | AD7502 |
| S/H | AD583 |
| CAD | AD574, 12 bit |

Figura 16 - Primeiro caso a ser estudado

A estrutura apresentada na figura 16 foi rodada no programa PROCAD e apresentou os resultados constantes da figura 17 que é a tela de apresentação de resultados do programa PROCAD.

Projeto do Sistema

Menu Imprimir Help

PROJETO : caso1.prj

SINAL : TRIANGULAR

AI : AD522

FILTRO BUT_3

MUX : AD7502

S/H : AD583

CAD : AD574

ERRO TOTAL : 2,59494

BITS EQUIVALENTES : 6

RESULTADOS (2VFS) :

PRJ 1

2,55314

,37888

,014140

,0269

,267579

2,59494

6

Parâmetros :

VFS (V) : 10

dt (C) : 25 a 75

Rs (Ohms) : 1000

G do AI : 10

Fe (Hz) : 10

Fs (Hz) : 10000

Fc do Filtro (Hz) : 100

☐ Anula dt ☐ Anula Es

☐ Anula dt ☐ Vel

CARREGA

NOVO

ATUALIZA

CALCULAR

VER

Figura 17 - Levantamento dos Erros de Aquisição do Primeiro Caso

Nota-se nos resultados a maior participação do erro do amplificador de instrumentação e do filtro passa-baixas seguido então pelo conversor A/D. Os erros inseridos pelo multiplexador e circuito de amostragem e retenção foram os menos significativos neste caso. É interessante se citar que se a frequência do sinal de entrada triangular fosse aumentada os erros subiriam de forma muito acentuada (um sinal de 100Hz poderia levar a erros de 50%), mostrando a necessidade de se realizar um projeto cuidadoso do filtro.

Para o conversor escolhido de 12-bit, com $VFS = 10V$ tem-se uma resolução de 2,44 mV, mas com o erro de aquisição apontando 2,594 %VFS se obteria um erro máximo de 259,4 mV indicando que o número eficaz de bits do conversor fica em torno de 6 bits. A partir do segundo exemplo pode-se realizar comparações entre os projetos permitindo aproveitamento maior do programa.

Como segundo caso toma-se o sistema apresentado na figura 18, com uma estrutura semelhante a da figura 16, ficando a diferença na especificação do projeto onde neste caso temos a correção de algumas não idealidades (erros sistemáticos). Esta forma de realizar o projeto nos permite testar diferentes configurações ou ações que podem ser realizadas visando melhorar o desempenho do sistema.

| Tipo de Componente | Nome |
|--------------------|--------------------------------------|
| Fonte de Sinal | Onda Triangular, 10Hz |
| AI | AD522, Ganho = 10 |
| Filtro | Butterworth, ordem = 3, $f_c = 1KHz$ |
| Multiplexador | AD7502 |
| S/H | AD583 |
| CAD | AD574, 12-bit |

Figura 18 - Segundo caso a ser estudado

A estrutura apresentada na figura 18 foi rodada no programa PROCAD e apresentou os resultados constantes da tabela da figura 19 onde tem-se a tela de análise de resultados do programa PROCAD.

Projeto do Sistema

MenuImprimirHelp

PROJETO : caso2.prj

SINAL : TRIANGULAR

AI : AD522

FILTRO BUT_3

MUX : AD7502

S/H : AD583

CAD : AD574

ERRO TOTAL : .693361

BITS EQUIVALENTES : 7

RESULTADOS (%VFS)

PRJ 1

.515413

.37888

.005012

.005025

.267393

.693361

7

Parâmetros :

VFS (V) : 10

dt (C) : 25 a 75

Rs (Ohms) : 1000

G do AI : 10

Fc (Hz) : 10

Fs (Hz) : 10000

Fc do Filtro (Hz) : 100

☐ Anula dt

☒ Anula Es

☐ Anula di

☐ Vel

CARREGA

NOVO

ATUALIZA

CALCULAR

VER

Figura 19 - Levantamento de Erros de Aquisição do Segundo Caso

No caso acima a correção provocou uma melhora nos erros de alguns blocos onde os erros sistemáticos eram maiores, mas não influenciou outros como o filtro e o multiplexador analógico. Pode-se notar que esta melhora não é muito significativa pois reduz o erro de aquisição para 0,69336 %VFS, indicando um erro máximo em tensão da ordem de 69,33 mV apontando para um número de bits eficazes do conversor A/D na faixa de 7 a 8 bits. Este valor obtido ainda se encontra longe do valor que se esperaria que é de 12 bits.

O caso citado aponta para predominância dos erros aleatórios como a deriva térmica dos parâmetros e para o filtro passa-baixas. Fica claro também através da comparação entre os

exemplos que a correção pode ser de extrema utilidade quando convenientemente realizada. Pode-se neste caso utilizar um componente de pior qualidade e obter-se resultados razoáveis.

Como terceiro caso toma-se as configurações das figuras 16 e 18, procurando-se realizar uma otimização através da escolha de outros componentes disponíveis. Através deste caso pode-se obter a melhor estrutura para se implementar na prática vista na figura 20 abaixo. O amplificador de instrumentação foi substituído por outro de melhor performance e o conversor foi substituído por um de maior número de bit. O filtro foi substituído por outro de $f_c = 100$ Hz com ordem 5. Os demais componentes por não apresentarem um erro muito significativo permanecem os mesmos.

| Tipo de Componente | Nome |
|-------------------------|--|
| Fonte de Sinal | Onda Triangular, 10 Hz |
| AI | AD624, Ganho = 10 |
| Filtro | Butterworth, Ordem = 5, $f_c = 100$ Hz |
| Multiplexador Analógico | AD7502 |
| S/H | AD583 |
| CAD | PCM1750, 18-bit, tempo de conversão = 4,5 μ s. |

Figura 20 - Terceiro caso a ser estudado

Os erros apresentados na figura 21, tela do módulo de apresentação de resultados do programa PROCAD, referentes ao terceiro caso se apresentam sem correção com a utilização do erro de amplitude total.

Projeto do Sistema

Menu Imprimir Help

| | | | |
|---------------------|------------|----------------------------|--|
| PROJETO : | caso3.prj | RESULTADOS (%VFS) : | |
| SINAL : | TRIANGULAR | PRJ 1 | |
| AI : | AD624 | .515413 | |
| FILTRO : | BUT_5 | .37888 | |
| MUX : | AD7502 | .005012 | |
| S/H : | AD583 | .005025 | |
| CAD : | ADC76 | .267393 | |
| ERRO TOTAL : | | .693361 | |
| BITS EQUIVALENTES : | | 8 | |

| | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Parâmetros : | |
| VFS (V) : | 10 |
| dT (C) : | 25 a 75 |
| Rs (Ohms) : | 1000 |
| E do AI : | 10 |
| Fe (Hz) : | 10 |
| Fs (Hz) : | 10000 |
| Fc do Filtro (Hz) : | 100 |
| <input type="checkbox"/> Anula dT | <input type="checkbox"/> Anula Fs |
| <input type="checkbox"/> Anula di | <input type="checkbox"/> Vel |

CARREGA NOVO ATUALIZA CALCULAR VER

Figura 21 - Levantamento de Erros do Quarto Caso

Como pode ser visto na figura 19 o erro predominante foi o do amplificador de instrumentação mas nota-se a melhora ocorrida através da seleção de filtro de ordem superior que acarreta menos distorção dentro da faixa de frequências ocupada pelas componentes do sinal, sendo que sua substituição por outro não trará grandes melhorias com o sinal da fonte na frequência de 10 Hz.

Deve-se levar em conta ainda que neste caso não é realizada a correção dos erros sistemáticos. Há uma melhora neste caso que poderia ser maior se fossem eliminados os erros sistemáticos.

A substituição do conversor por um de maior número de bit se mostrou sem grandes resultados práticos, já que tem-se no caso uma resolução de 1,526 μV e um erro máximo de

63,37 mV o que nos leva a um número eficaz de bits da ordem de 8 bits. Portanto o custo de um conversor de maior número de bits não se justifica com a utilização de outros componentes de baixa qualidade.

Não pretende-se neste capítulo discorrer sobre casos específicos mas sim apresentar possibilidades do programa PROCAD e verificar seu correto funcionamento. Há ainda uma grande quantidade de outras possibilidades que não foram utilizadas nestes casos :

- anular atraso no tempo sofrido pelo sinal ao ser processado pelos circuitos funcionais AI, Filtros e S/H;
- cálculos dos erros de resposta em frequência através do seu valor eficaz;
- anular os desvios devido a variação de parâmetros com a temperatura.

Esta grande quantidade de possibilidades de arranjos conjugada a uma grande quantidade de parâmetros que podem ser alterados tornam o programa muito versátil e permitem uma completa avaliação do sistema projetado.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de programa auxiliara ao projeto de sistemas de aquisição digital de sinais analógicos. Para realização desta tarefa é necessário o estudo das metodologias existentes para cálculo dos erros introduzidos no sinal sendo processado pelos circuitos funcionais componentes destes sistemas.

Através do estudo das metodologias encontradas na literatura foram encontradas lacunas. Estas falhas não permitiam uma perfeita avaliação dos sistemas estudados. Selecionou-se então uma metodologia existente, proposta por Garret. Esta metodologia, a mais abrangente das existentes, serviu de base para este trabalho. Foi necessário, porém, a adaptação de algumas partes para alcançar o objetivo proposto. As principais adaptações introduzidas foram:

- Redefinição do erro de amplitude que passou a se chamar erro de resposta em frequência;
- Cálculo do erro de resposta em frequência para o AI e S/H além do filtro para instrumentação;
- Possibilidade de correção de erros sistemáticos do erro individual dos circuitos funcionais;

A existência desta metodologia permitiu o desenvolvimento do sistema proposto que realiza todos os cálculos exigidos para obtenção do erro total de aquisição de forma automática. A existência desta ferramenta permite a realização de projetos por análise de forma iterativa com melhor qualidade, maior velocidade, salientando possíveis limitações que este possa apresentar.

A criação de bibliotecas de componentes e projetos permite a rápida análise de projetos anteriores. Com o estudo das soluções já implementadas há a possibilidade de direcionamento do projeto na busca de melhores resultados evitando configurações de desempenho inferior. A padronização das bibliotecas de componentes e projetos permite seu acesso a partir de outros gerenciadores de banco de dados (Ex: Access) facilitando desenvolvimento de novos módulos para o programa.

No capítulo 4 foram apresentados os resultados de análises efetuadas sobre projetos próximos dos encontrados no mercado. A liberação do usuário dos cálculos a serem realizados permite que este concentre-se na tarefa básica que é o refinamento do projeto. Refinamento que é

possível através a seleção de circuitos funcionais que realizem a função desejada com rendimento e custo esperados.

Os resultados obtidos no capítulo 4 mostram que em sistemas de aquisição digital de sinais analógicos as principais fontes de erro são os componentes analógicos que realizam algum tipo de processamento no sinal como amplificadores e filtros.

No mercado é comum a especificação do erro total de aquisição do sistema como sendo a resolução do CAD (valor derivado do número de bits do componente). Através da análise de qualquer projeto verifica-se que há outras fontes de erro de amplitude maior que a resolução do conversor. A partir desta informação define-se então uma figura de mérito que é o número efetivo de bits da palavra digital, informação calculada a partir do erro total de aquisição do sistema. Estes parâmetros obtido facilitam a escolha de estruturas de sistemas de aquisição digital de sinais analógicos.

O impacto da morfologia do sinal sendo processado, quase sempre desprezada, no erro total de aquisição dos SADS foi outro aspecto bastante estudado. A sua importância pode ser avaliada através do erro de amplitude do filtro para instrumentação. É neste componente que sua função de transferência provoca os maiores desvios permitindo melhor visualização da amplitude do problema.

Todos os aspectos abordados neste trabalho, na busca do cálculo do erro total de aquisição, quando bem explorados levam a melhores especificações dos projetos sendo desenvolvidos. O aprimoramento destes sistemas traz a redução de custos e um melhor conhecimento dos sistemas projetados. Tem-se assim a possibilidade do completo aproveitamento de seus recursos.

Como proposta para continuação deste trabalho tem-se:

- ☐ Adicionar-se módulo de projeto automático a partir das especificações dos erros totais e individuais dos circuitos funcionais;
- ☐ Acoplar o programa PROCAD a sistemas de calibração de SADS possibilitando completo acompanhamento do projeto durante toda sua fase de desenvolvimento;

- Realizar levantamentos experimentais de SADS para comparação com dados obtidos através do programa PROCAD;
- Avaliar os sistemas existentes no mercado para teste dinâmico de sistemas [02,25], verificando possibilidade do programa PROCAD realizar esta tarefa.

BIBLIOGRAFIA

- [01] ANALOG DEVICES. "Linear Products Databook. Norwood" Analog Devices, Massachussets, 1988.
- [02] BEDNAREK, C. Dynamic characterization of A/D converters. Handshake - Tektronix Application Information, p. 8 - 11, Summer, 1988.
- [05] BRADSHAW, P. "Do's and dont's of applying A/D converters". INTERSIL Inc., apud Data Acquisition and Conversion Handbook, DATEL Systems, 1979.
- [03] BUDAI, M. Optimization of the signal conditioning channel, Senior Design Project, University of Cincinnati, 1978
- [04] BURR-BROWN. The handbook of linear IC applications. Arizona: BB, 1987. 281 p.
- [06] CARVALHO, J. M. de Visual Basic, Makron Books do Brasil Editora, Rio de Janeiro, 1992.
- [07] COLEMAN, B. Coherent sampling helps when specifying DSP A/D converters. EDN, p. 145, Outubro, 1987
- [08] COPELAND, L. "Straight talk on A/D converter boards". Instruments and Control Systems, October, 1978. apud Data Acquisition and Conversion Handbook, DATEL Systems, 1979.
- [09] COWART, R. Microsoft Access para Windows Editora Campus,

Rio de Janeiro, 1993

- [10] DAVIS, W. S. Análise e Projeto de Sistemas - Uma Abordagem Estruturada LTC : Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 1987

- [11] FAZEKAS, P. A systematic approach facilitates noise analysis. EDN, p. 90-101, Maio 1988

- [12] FILHO, S. N. "Síntese de Circuitos Passivos" Anotações de aula, 1990.

- [13] GARRET, P. H. Analog I/O design. Reston: Reston Publishing, 1981. 264 p.

- [14] JENK, Y. C. Asynchronous dynamic testing of A/D converters. Handshake - Tektronix Application Information, p. 4 - 7, Summer, 1988.

- [15] JENNINGS, Roger Dominando o Microsoft Access. Editora Ciência Moderna, Rio de Janeiro, 1993

- [16] KNAPP, R. Selection criteria assist in choice of optimum reference EDN, p. 183, Fevereiro, 1988

- [17] LEIBSON, Steven H. Data-acquisition system design demands attention to details. EDN, p. 156-164, Julho 1991.

- [18] LOGAN, L. Data acquisition planning. Eletronic Design, p. 97-107,

Outubro 1993.

- [19] LORENZ, L. ; O'MARA, R. Explorando Windows 3.1 Editora Campus, Rio de Janeiro, 1992
- [20] NEIBAUER, A. R O ABC do Windows Makron Books do Brasil, São Paulo, 1993.
- [21] SCHNEIDER, C. A. ; LÜCKE, H. A. Técnicas de pesquisa experimental. Florianópolis: UFSC, LABMETRO/CERTI, 1990.
- [22] SCOTT, D. F. Visual Basic 2 for Windows LTC: Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 1993
- [23] SEDRA, A. S. ; BRACKETT, P. O. "Filter Theory and Design: Active and Passive" Matrix Publishers, Inc., Champaign, Illinois, 1978.
- [24] STRASSBERG, D. Avoid overspecifying antialiasing filters. EDN, p. 76-86, Julho 1991.
- [25] THOMAS, M. Dynamic Characteristics of Tracking Converters. APPLICATION NOTE, Analog Devices, Massachussets, 1988.
- [26] ZANCHIN, C. A. "Sistema de Aquisição de Dados I - EEL 3132" Anotações de aula, 1989.
- [27] ZANCHIN, C. A. "Sistema de Aquisição de Dados II - EEL 3132" Anotações de aula, 1989.

- [28] ZUCH, E. L. Principles of Data Acquisition and Conversion. APPLICATION NOTE, DATEL Systems, Massachussets, 1979. apud Data Acquisition and Conversion Handbook, DATEL Systems, 1979.
- [29] ZUCH, E. L. "Where and when to use which data converter". IEEE Spectrum, June, 1977, p.,38-42. apud Data Acquisition and Conversion Handbook, DATEL Systems, 1979.
- [30] ZUCH, E. L. "Compensate for Temperature Drift in Data-Converter Circuits". EDN, April 20, 1979. apud Data Acquisition and Conversion Handbook, DATEL Systems, 1979.
- [31] ZUCH, E. L. "Keep Track of a Sample-Hold from Mode to Mode to Locate Error Sources". Electronic Design, December 6, 1978. apud Data Acquisition and Conversion Handbook, DATEL Systems, 1979.